



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
COORDENAÇÃO DE PESQUISA

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC

**ESTUDO DO CULTIVO DA BIOMASSA DE *Chlorella vulgaris* E  
APLICAÇÃO EM TRATAMENTO DE EFLUENTES COM  
BIOREATOR EM ESCALA PILOTO.**

Área de concentração: Engenharias

Bolsista: Yasmin Oliveira Carvalho  
Nº Matrícula: 201210003738

Orientadora: Cristina Ferraz Silva  
Departamento: Departamento de Engenharia Química

**Relatório Final**

**2016 / 2017**

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica  
PICVOL

## RESUMO

As microalgas são microrganismos fotossintéticos, bastante resistentes, que podem ser utilizadas para vários fins, entre estes é possível destacar o tratamento de efluentes e a produção de biocombustíveis. As microalgas são capazes de remover nitrogênio e fósforo do efluente promovendo um tratamento terciário, evitando o processo de eutrofização. A biomassa resultante deste tratamento pode ser utilizada tanto para produção de biocombustíveis quanto para a produção de cosméticos, corantes alimentícios, suplementos animais, entre outros. O cultivo das microalgas pode ser realizado tanto em sistemas abertos, como piscinas, quanto em sistemas fechados, como os biorreatores. Os biorreatores são menos suscetíveis a contaminações e permitem a monitoração dos parâmetros como temperatura, luminosidade, mas os sistemas abertos apesar de expostos a contaminações e variações de parâmetros, são de fácil construção, apresentando baixos custos de instalação e fácil operação. Devido a esses fatores, nesta pesquisa foi realizado um estudo do tratamento terciário de efluente sanitário em escala piloto em um reator tipo tanque aberto. O processo foi monitorado durante 23 dias, no qual foi obtido elevado crescimento de biomassa, remoção máxima de 61% de nitrato e 85% de fosfato, e a ausência de coliformes totais no efluente tratado. Os dados obtidos demonstram que a utilização do sistema aberto de cultivo de microalgas para tratamento terciário de efluentes é eficiente, representando uma alternativa sustentável para o tratamento de efluentes sanitários. Além disso, a biomassa obtida pode ser destinada a produção de biocombustíveis, desde que modificações no sistema de agitação sejam realizadas.

Palavras-chave: Microalgas, tratamento terciário, *Chlorella vulgaris*.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>3. JUSTIFICATIVA DE ALTERAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO .....</b>	<b>7</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>7</b>
<b>4.1. Montagem do reator .....</b>	<b>7</b>
<b>4.2. Preparo do Inóculo .....</b>	<b>8</b>
<b>4.3. Análise de crescimento de biomassa.....</b>	<b>9</b>
<b>4.4. Análise de determinação de fosfato .....</b>	<b>9</b>
<b>4.5. Análise de determinação de nitrato .....</b>	<b>10</b>
<b>4.6. Avaliação de coliformes totais.....</b>	<b>10</b>
<b>4.7. Estudo da viabilidade econômica do processo .....</b>	<b>11</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>5.1. Crescimento de biomassa .....</b>	<b>11</b>
<b>5.2. Remoção de nitrato .....</b>	<b>12</b>
<b>5.3. Remoção de fosfato .....</b>	<b>12</b>
<b>5.4. Análise de coliformes totais.....</b>	<b>14</b>
<b>5.5. Viabilidade econômica do processo .....</b>	<b>14</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>7. ATIVIDADES COMPLEMENTARES DESENVOLVIDAS .....</b>	<b>16</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>17</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Microalgas são microrganismos fotossintéticos que podem crescer rapidamente e viver em condições rigorosas devido à sua estrutura unicelular. Podem ser encontradas na superfície de alguns tipos de solos e principalmente em ambientes aquáticos, apresentando-se como células isoladas, agrupadas formando colônias ou encadeadas sob a forma de segmentos lineares de células (REIS, 2014). O mecanismo fotossintético das microalgas é comparável ao das plantas terrestres, mas devido à sua estrutura celular simples, e ao meio líquido em que vivem, apresentam trocas mais eficientes de água, CO<sub>2</sub> e nutrientes do que as plantas superiores, o que conduz a taxas mais elevadas de conversão de energia solar em biomassa (RUSSO, 2011). As microalgas armazenam energia na forma de ATP e NADPH, compostos utilizados para a síntese de carboidratos, lipídios e outros compostos orgânicos, a partir de água e redução de CO<sub>2</sub>. Essas espécies, além de possuírem um rápido crescimento, podem conter altos teores de óleo, comparando-se com espécies de plantas oleaginosas (REIS, 2014). O uso das microalgas apresentam grandes vantagens, como por exemplo: A produção é permanente ao longo do ano, permite a utilização de terrenos marginais, não compete com as culturas alimentares, permite a utilização de águas impróprias para a agricultura (águas residuais, águas salobras), o *scale-up* é relativamente simples, permite o aproveitamento de nutrientes e gases atualmente em excesso nas sociedades industrializadas (RUSSO, 2011).

As microalgas da espécie *Chlorella vulgaris* possuem coloração verde devido à presença dos pigmentos clorofila a e b em seu cloroplasto. Além da clorofila, apresentam outros pigmentos, como o  $\beta$ -caroteno e várias xantofilas. As células desta espécie são capazes de suplementar a quantidade de carbono pela utilização de matéria orgânica dissolvida na forma de açúcares, ácidos aminados e outras moléculas pequenas, caracterizando um metabolismo mixotrófico. A *Chlorella vulgaris* é uma das espécies mais estudadas devido a sua alta taxa de crescimento, fácil cultivo e difícil contaminação mesmo em sistemas abertos (SANTOS, 2013).

A biomassa microalgal pode ser utilizada para vários fins, além da produção de biocombustíveis, ela também pode ser utilizada na alimentação humana e animal, como produto de interesse na indústria farmacêutica, na produção de corantes alimentícios, na produção de cosméticos e como indicadores ambientais. Além dessas, existem as aplicações biotecnológicas, como a bioconservação da energia solar, e também o

tratamento de resíduos, como o estrume, hidrolisados, lixiviado, efluentes e fixação de CO<sub>2</sub> proveniente da queima de combustíveis fósseis (REIS, 2014).

O crescimento das populações de microalgas depende da disponibilidade de nutrientes no meio. Estes microrganismos acumulam nitrogênio e fósforo e os transformam em substâncias de reservas que podem ser convertidas em produtos com valor comercial. A grande vantagem está no fato de que as microalgas possuem a capacidade de assimilar os nutrientes solúveis em quantidades maiores do que as necessárias para o seu crescimento imediato (RUSSO, 2011). Métodos de tratamento de efluentes com microalgas são comumente usados para a remoção de nutrientes, agentes patogênicos e outros tipos de contaminantes. A biomassa proveniente deste tratamento pode ser utilizada tanto na fertilização do solo quanto na obtenção de biocombustíveis (AHMAD *et al.*, 2013). Ao remover nutrientes dos efluentes, principalmente nitrogênio e fósforo, as microalgas impedem que ocorra o processo de eutrofização. Este processo pode levar à alteração no sabor, no odor, na turbidez e na cor da água, além da redução do oxigênio dissolvido, provocando crescimento excessivo de plantas aquáticas e a morte de peixes e outras espécies aquáticas (BARRETO *et al.*, 2013). Assim, o uso de biorreatores com microalgas apresentam a vantagem de promover uma conversão simultânea de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, em uma única etapa, reduzindo custos capitais e operacionais comumente associados às formas convencionais de tratamento (VIEIRA *et al.*, 2012).

Além disso, é necessário que a emissão dos efluentes em corpos de água atenda às exigências do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (LÚCIO, 2014). A resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2015, alterada pela resolução 410/2009 e pela 430/2011, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Conforme o Art. 5º da resolução CONAMA Nº 430, os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e finais do seu enquadramento. Para os nutrientes causadores do processo de eutrofização, a resolução do CONAMA estabelece os limites de lançamento apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de qualidade de efluente para lançamento em água doce.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor Máximo</b>
<b>Fósforo total (ambiente lântico)</b>	0,05 mg/L P
<b>Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)</b>	0,075 mg/L P
<b>Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)</b>	0,15 mg/L P
<b>Nitrato</b>	10,0 mg/L N
<b>Nitrito</b>	1,0 mg/L N
<b>Nitrogênio amoniacal total</b>	13,3 mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$ 5,6 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ 2,2 mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ 1,0 mg/L N, para $\text{pH} > 8,5$

Fonte: Resolução CONAMA Nº 357, 17 mar., 2015, p. 11-13.

As microalgas podem ser cultivadas tanto em sistemas abertos quanto em sistemas fechados. Cultivos em sistemas abertos oferecem condições para o desenvolvimento das microalgas idênticas às do ambiente externo. Estes sistemas são usualmente conduzidos em piscinas ou tanques diretamente expostas ao meio ambiente, enquanto cultivos em sistemas fechados são conduzidos em fotobiorreatores (REIS, 2014). Um método de produção de estilo "aberto" muito utilizado, principalmente nos estados Unidos e em Israel, são os Raceways, que são equipamentos constituídos por pistas de vastas áreas e com recirculação por chicanas. Estas chicanas são responsáveis pelo guiamento do trajeto da água com microalgas. Geralmente o interior dos canais é revestido por um plástico branco ou transparente, a alimentação da cultura é contínua, assim como a circulação evitando deposição da biomassa no fundo do canal. Visto que se trata de um sistema "aberto", o sistema Raceway sofre grandes alterações de temperatura devido às estações no ano e ao período noturno e diurno, sendo a evaporação da água um problema considerável (GUIMARÃES, 2012).

Os fotobiorreatores podem assumir várias configurações, dentre as mais simples estão os sistemas tubulares horizontais ou helicoidais, bem como combinações

de painéis planos verticais e colunas de bolhas (CONCAS, 2010). Os fotobiorreatores tubulares e placas achatadas são os mais utilizados, podendo ser construídos com materiais mais rígidos e transparentes como vidro, e para estruturas mais flexíveis, o plástico. Eles podem ser posicionados horizontalmente, verticalmente, inclinados ou podem ser interligados por tubulações de distribuição. Além disso, podem trabalhar com um sistema monofásico, onde a mistura é feita por bombeamento mecânico e a troca gasosa é feita em tanques separados, e com um sistema bifásico, onde a transferência continua de gás ocorre no próprio biorreator. Os biorreatores possuem uma seção que permite a troca de gases no meio de cultura, entrada de CO<sub>2</sub> e saída de O<sub>2</sub>, e outra seção que permite a exposição das microalgas à luz. Os biorreatores tubulares devem ter seu diâmetro máximo de 10 cm, para não limitar a penetração da luz e reduzir o acúmulo de O<sub>2</sub>. Já os biorreatores de placas, possibilitam uma maior captação de luz e baixo acúmulo de O<sub>2</sub>, permitindo uma maior densidade de biomassa obtida. Os biorreatores em coluna são caracterizados por possuírem uma seção geradora de bolhas que mistura o meio pelo efeito flashing que faz a transferência de gases (LOPES *et al.*, 2014).

A seleção de um sistema de cultivo depende do produto final, por exemplo, para a produção de biocombustíveis, as microalgas podem ser cultivadas tanto em sistemas fechados ou abertos. Já para a indústria farmacêutica a produção requer menor contaminação e, assim, devem ser empregados os sistemas fechados (LÚCIO, 2014).

## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral:**

O presente trabalho tem como objetivo geral planejar e construir uma planta piloto para o tratamento de águas residuárias utilizando a microalga da espécie *Chlorella vulgaris*.

### **Objetivos Específicos:**

- Estudo de fatores e do processo de tratamento de efluentes utilizando a microalga *Chlorella vulgaris*;
- Planejamento da planta piloto, incluindo as etapas de construção, operação e controle;
- Análise de custos dos equipamentos e melhores condições de operação;

- Montagem e operação do reator;
- Estudo da viabilidade econômica do processo.

### 3. JUSTIFICATIVA DE ALTERAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO

Devido o alto custo de construção do biorreator e a falta de recursos financeiros para o desenvolvimento da pesquisa, foi necessário substituir a construção do biorreator para cultivo em sistema fechado, pelo cultivo em sistema aberto utilizando um reator tipo tanque aberto.

### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1. Montagem do reator

A Estação de Tratamento de Efluente da Universidade Federal de Sergipe cedeu um dos tanques de secagem para que fosse adaptado e utilizado como tanque aberto para cultivo das microalgas. Nestas adaptações, o leito de secagem foi coberto com uma lona para evitar vazamentos, e foram colocados quatro aeradores, dois em cada extremidade do tanque, para promover a agitação do meio. O efluente sanitário utilizado foi cedido pela Universidade Federal de Sergipe, após passar por tratamento em tanque anaeróbio de fluxo ascendente. As Figuras 1 e 2 representam o tanque no dia da montagem e implantação do tratamento.



Figura 1 - Estrutura do tanque para tratamento terciário com microalga *Chlorella vulgaris* (Fonte: Arquivo do autor).





Figura 2 - Tanque de tratamento sendo preenchido com efluente (Fonte: Arquivo do autor).

#### 4.2. Preparo do Inóculo

Inicialmente, foi cultivado um inóculo de microalga *Chlorella vulgaris* para que esta se adaptasse ao efluente. Este inóculo foi preparado com a adição de 0,5 L de microalgas, cultivadas anteriormente no laboratório de Bioquímica Industrial, em 4,5 L de efluente coletado na ETE da UFS e diluído 50% v/v. Este inóculo foi mantido em condições de incubação durante 7 dias com iluminação constante através de uma lâmpada de 25W e 60 Hz, e com agitação através de um nebulizador de ar com taxa de nebulização de 0,4 mL/min e 50 psi de pressão. Após uma semana esse inóculo foi replicado para um volume de 50 L de efluente, sendo cultivado da mesma maneira que o inóculo anterior, porém com duas lâmpadas nas mesmas especificações, durante mais 7 dias. Este inóculo foi então levado até a ETE e foi adicionado ao tanque. O tanque de cultivo possuía 5 m de largura, 10 m de comprimento e 50 cm de profundidade. O volume inicial de tratamento foi de 2500 L de efluente sanitário com o inóculo de 50 L cultivado por uma semana.

O cultivo foi iniciado dia 13 de fevereiro de 2017, segunda-feira, nesta primeira semana o cultivo foi realizado tipo batelada, sem adição de efluente até a segunda-feira dia 20 de fevereiro de 2017. Porém, neste período ocorreram fortes chuvas no fim de semana causando diluição do meio de cultivo. Na semana de 20 a 24 de fevereiro o cultivo foi realizado tipo batelada alimentada, adicionando a cada dia 1000 L de efluente. A próxima medição foi realizada na quarta-feira dia 1 de março de 2017 devido ao período de carnaval. Foi então adicionado mais 1000 L de efluente neste dia e o cultivo continuou até o dia 7 de março, em modo batelada (sem adição de efluente). A

Figura 3 representa o tanque após alguns dias de cultivo quando as microalgas já haviam se multiplicado no meio.



Figura 3 - Tanque de tratamento de efluente com microalga *Chlorella vulgaris* (Fonte: Arquivo do autor).

#### 4.3. Análise de crescimento de biomassa

A análise foi realizada no laboratório de Bioquímica Industrial do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Sergipe. Para determinar a curva de crescimento de biomassa da microalga *Chlorella vulgaris*, foi utilizada a metodologia proposta por Jarenkow (2011). Em cada amostra coletada foi retirada uma alíquota, que foi lida sua absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 570 nm. De posse das absorbâncias, estas foram inseridas na equação da curva padrão de biomassa seca, que forneceu a concentração de cada amostra analisada.

#### 4.4. Análise de determinação de fosfato

Esta análise foi realizada no laboratório de Bioquímica Industrial do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Sergipe, seguindo a metodologia de determinação espectrofotométrica de fósforo proposta por Clescerl *et al.* (1998). Para a análise, inicialmente foi construída uma curva padrão de fosfato, a partir de soluções com concentração conhecida. Após isso, foram adicionados 5 mL da alíquota de efluente a ser analisada com 0,1 mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e 0,5 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrados. Estas alíquotas foram então aquecidas a  $100^\circ\text{C}$  durante 1 hora para promover a digestão da amostra e consequente eliminação dos compostos orgânicos. Após o resfriamento, a amostra foi neutralizada com hidróxido de

sódio (NaOH) 1N, utilizando fenolftaleína como indicador. A amostra neutralizada foi transferida para um balão de 50 mL, que foi avolumado com água destilada. Foram retiradas 10 mL da amostra neutralizada e esta foi transferida para um tubo de ensaio, acrescentando-se 3,2 mL de uma solução desenvolvedora de cor. Então as amostras foram lidas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 880 nanômetros, utilizando uma curva padrão para determinação da concentração final.

#### **4.5. Análise de determinação de nitrato**

Esta análise foi realizada no laboratório de Bioquímica Industrial do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Sergipe, seguindo a metodologia por UV com segunda derivada, proposta por Eaton *et al.* (2005). Inicialmente, as amostras foram centrifugadas e filtradas, para eliminar a turbidez. Após isso, a absorbância amostra foi lida em cubeta de quartzo, em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 210, 220 e 230 nm. A análise foi realizada sempre no mesmo dia de coleta 17 de amostra. Para a análise, foi construída uma curva padrão de nitrato a partir de soluções com concentração conhecida.

#### **4.6. Avaliação de coliformes totais**

Esta análise foi realizada no laboratório de Bioquímica Industrial do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Sergipe, seguindo a metodologia de tubos múltiplos, proposta pelo manual prático de análise de água fornecido pela Fundação Nacional da Saúde (FUNASA, 2013). Inicialmente, foram retirados 10 mL da amostra e preparadas 3 diluições sucessivas (0,1; 0,01; 0,001), e para cada diluição foram utilizados 2 tubos contendo 10 mL de caldo verde brilhante Bile a 2% com tubos de Durhan invertidos, as quais foram posteriormente incubados de 35 a 37°C por 24 horas. A negatividade do teste foi observada pela não formação de gás no interior dos tubos de Durhan.

#### 4.7. Estudo da viabilidade econômica do processo

O estudo da viabilidade econômica do processo foi realizado considerando o consumo energético da aeração do tanque, e os custos e lucros, caso a biomassa obtida fosse destinada a produção de biodiesel.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1. Crescimento de biomassa

O resultado de crescimento de biomassa obtido pode ser observado no gráfico da Figura 4, onde é possível observar que o período em que a quantidade de biomassa atingiu valor máximo foi no período em que o reator funcionou em batelada alimentada. Além disso, é possível perceber que o pico de crescimento se deu nos dias em que o efluente foi adicionado e após isso o crescimento sofreu decréscimo. Este decréscimo é resultado da biomassa da microalga ser leve e imóvel, o que causou a decantação da biomassa, que ficou concentrada no fundo do tanque ao passar dos dias. A Figura 5 ilustra este fato, onde os pontos mais escuros no tanque são a biomassa da microalga que decantaram no fundo.

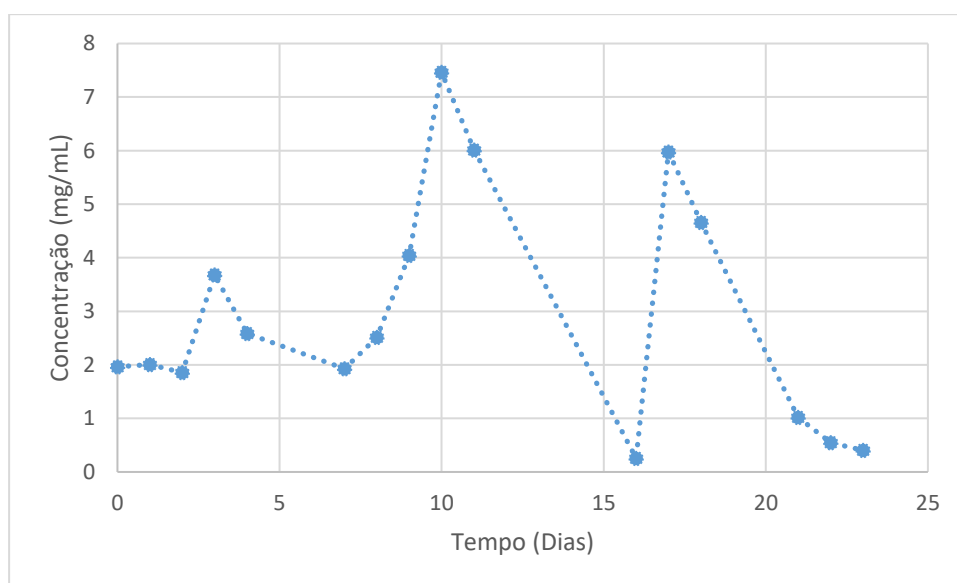


Figura 4 - Análise de biomassa de *Chlorella vulgaris* ao longo dos 23 dias de cultivo (Fonte: Arquivo do autor).



Figura 5 - Tanque de tratamento após decantação das microalgas (*Fonte: Arquivo do autor*).

### 5.2. Remoção de nitrato

O resultado de consumo de nitrato pode ser observado no gráfico apresentado na Figura 6.

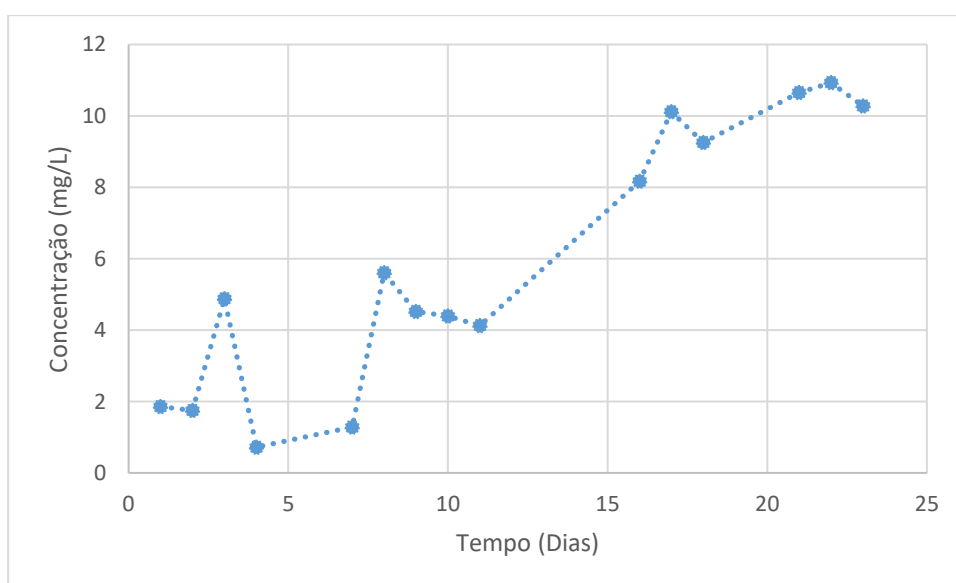


Figura 6 -Análise de remoção de nitrato no tratamento terciário de efluente sanitário utilizando *C. vulgaris* (*Fonte: Arquivo do autor*).

### 5.3. Remoção de fosfato

O resultado de consumo de fosfato pode ser observado no gráfico apresentado na Figura 7. Os dados obtidos nessa análise possibilitam observar que a remoção é gradativa no período em que o reator funcionou em batelada alimentada. Porém, houve

um aumento muito grande na concentração de nitrato a partir do 11º dia de cultivo. Para este caso, a melhor remoção ocorreu no 4º dia de cultivo, com concentração final de nitrato de 0,72 mg/L e remoção de 61% quando comparado ao primeiro dia de cultivo. A concentração máxima permitida pelo CONAMA é de 10 mg/L, garantindo que quanto a concentração de nitrato o efluente está dentro dos limites, porém a partir do 21º de cultivo, este limite foi ultrapassado.

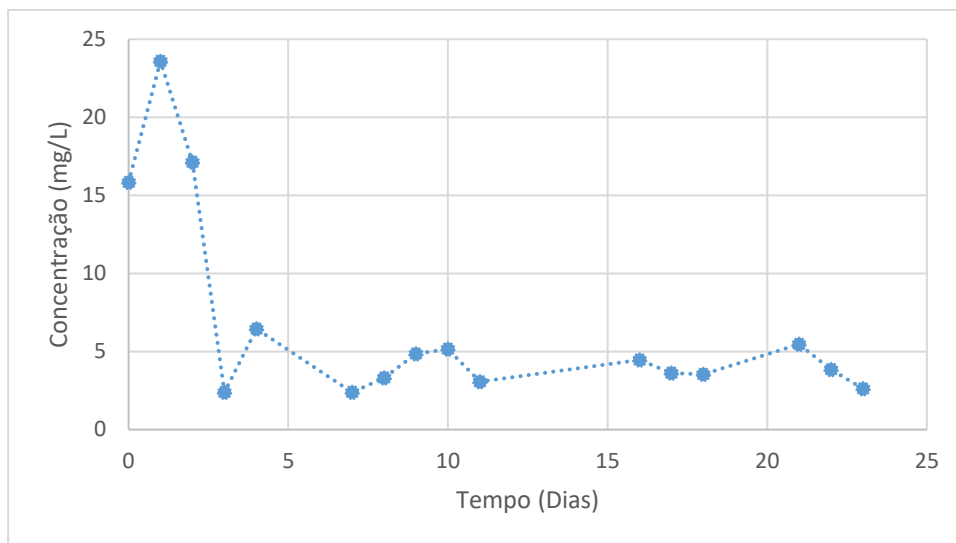


Figura 7 - Análise de remoção de fosfato no tratamento terciário de efluente sanitário utilizando *C. vulgaris* (Fonte: Arquivo do autor).

Nessa análise foi possível observar que o período de batelada alimentada é o que apresenta melhor eficiência na remoção de fosfato, pois esta reduziu gradativamente ao longo dos dias. As menores concentrações de fosfato foram obtidas no 3º e 7º dia de cultivo, com concentração de 2,38 mg/L. Porém, a maior porcentagem de remoção ocorreu do início do cultivo até o 3º dia, com remoção de 85% de fosfato. O último dia de cultivo também apresentou uma concentração relativamente baixa de 2,62 mg/L de fosfato. Apesar disso, a concentração de fosfato obtida ainda está acima da permitida pelo CONAMA, que permite concentração máxima de 0,15 mg/L de fósforo.

#### 5.4. Análise de coliformes totais

No efluente, após passar pelo tratamento terciário com a microalga *Chlorella vulgaris*, não houve presença de coliformes totais, que pode ser confirmado a partir da Figura 8, já que não foi produzido gás no interior dos tubos de Durham.

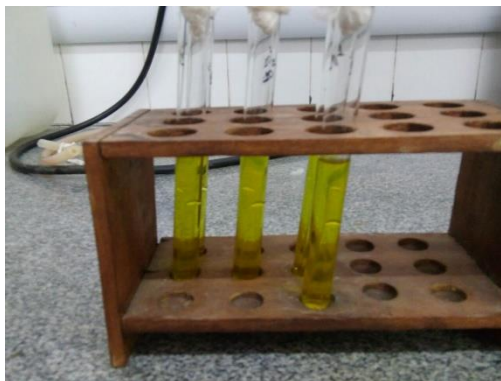


Figura 8 - Tubos de ensaio após análise de coliformes totais do efluente sanitário após o tratamento com *C. vulgaris* (Fonte: Arquivo do autor).

#### 5.5. Viabilidade econômica do processo

Para o consumo energético de aeração, foi calculado o consumo em kW para os 23 dias de cultivo, a partir da potência requerida dos aeradores utilizados, que foi de 200 V.A., o que equivale a aproximadamente 140W. O cálculo do valor em reais foi realizado a partir do preço do kWh cobrado pela companhia de energia ENERGISA, atuante no estado de Sergipe, que no mês de junho de 2017 estava custando R\$ 0,46759.

Segundo Liu et al. (2008), o rendimento em óleo máximo atingido pela microalga *Chlorella vulgaris* é de 55%. Com isso, foi utilizada a produção média de biomassa durante os 23 dias de cultivo e o rendimento máximo em óleo, para obtenção do rendimento total de óleo obtido durante o cultivo.

Com base no trabalho realizado por Zardo (2011), uma estimativa do custo para extração de um litro de óleo de soja é de R\$ 0,65 por litro de óleo extraído. Já o preço de venda do biodiesel foi estimado a partir do preço de referência do biodiesel obtido no 47º leilão do biodiesel realizado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP), o valor ao litro de biodiesel ficou em torno de R\$ 3,20. Esses dados foram utilizados para que fosse possível calcular o custo de extração e preço de venda do biocombustível proveniente do tratamento de efluente realizado neste

trabalho, para analisar se é rentável destinar a biomassa obtida com o tratamento de efluente a partir de microalga à produção de biodiesel.

O consumo energético do tratamento de efluente foi de R\$ 145,00. A média de concentração de biomassa durante os 23 dias de cultivo foi de 1,95 mg/mL. Com base no volume final de efluente tratado, que foi de 7500 L, foi obtido um peso de aproximadamente 14 kg de biomassa após os 23 dias de cultivo. Este peso pode fornecer um máximo de aproximadamente 7,7 L de biodiesel, com custo de extração de R\$ 5,00. A venda dos 7,7 L de biodiesel forneceria um valor de R\$ 24,64. Estes dados estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2. Viabilidade econômica da produção de biodiesel a partir da biomassa proveniente do tratamento de efluente sanitário.

<b>Variável</b>	<b>Valor (R\$)</b>
<b>Consumo energético</b>	- 145,00
<b>Custo de extração do biodiesel</b>	- 5,00
<b>Venda do biodiesel</b>	+ 24,64
<b>Lucro ou Prejuízo</b>	- 125,36

Foi obtido um prejuízo de R\$ 125,36, significando que o gasto energético foi muito alto para destinar a biomassa para produção de biodiesel. Porém, como não houve uma eficiência na agitação do meio, uma alternativa para reduzir os custos seria eliminar a agitação, que forneceria um lucro de R\$ 19,64, mas antes é necessário avaliar se a remoção da agitação não reduziria a produção de biomassa.

## 6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que:

- O período em que o tratamento foi realizado em batelada alimentada apresentou os melhores resultados, mostrando que este processo é mais eficiente que o batelada simples;
- Foi produzida uma quantidade significativa de biomassa, que pode ser utilizada para a produção de biocombustíveis, gerando um valor agregado ao tratamento de efluente, tornando o processo autossustentável economicamente.



Porém, para tornar isto possível é necessário retirar a agitação, ou buscar um método de agitação mais barato e eficiente;

- O rápido crescimento da microalga comprova a grande resistência da *Chlorella vulgaris* á contaminações, pois mesmo em tanque aberto foi possível seu desenvolvimento;
- O aumento da concentração de nitrato ao longo do processo pode ser um indício de que a metodologia de análise de nitrato aplicada é inadequada para este analito, podendo estar sofrendo a influência de compostos interferentes não previstos no método. Além disso, a microalga neste caso pode ter dado preferência a consumir outros compostos de nitrogênio em vez do nitrato propriamente;
- A remoção de fosfato foi satisfatória, com remoção máxima de 85%, porém a concentração ainda está acima da permitida pelo CONAMA, o que indica que o processo precisa ser otimizado;
- A ausência de coliformes totais foi um resultado bastante importante e satisfatório, principalmente para promover a reutilização do efluente tratado;
- Apesar da inviabilidade econômica da destinação da biomassa para produção de biodiesel no ensaio atual, um lucro de aproximadamente R\$ 20,00 poderá ser obtido caso o sistema de agitação seja eliminado.

## 7. ATIVIDADES COMPLEMENTARES DESENVOLVIDAS

- Trabalho apresentado na VIII Semana Acadêmica de Pós-Graduação em Engenharia Química, na Universidade Federal de Sergipe, em dezembro de 2016, á ser publicado na revista Scientia Plena da Universidade Federal de Sergipe.  
PEREIRA, J. C.; NASCIMENTO, A. I. L. F.; CARVALHO, Y. O.; FERRAZ, C. **Avaliação da remoção do fósforo total de efluente sanitário pela *Chlorella vulgaris* em um fotobiorreator batelada de pequeno porte.** VIII SEPEQ, 2016.
- Trabalho aprovado para apresentação no XXI Simpósio Nacional de Bioprocessos, de 03 a 06 de setembro de 2017.  
CARVALHO, Y. O.; GARRIDO, J. V.; BISPO, D.; FERRAZ, C. **The influence of vitamins in the cultivation of *Chlorella vulgaris*.** XXI SINAFERM, 2017.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- AHMAD, F.; KHAN, A. U.; YASAR, A. The potential of *Chlorella vulgaris* for wastewater treatment and biodiesel production. **Pakistan Journal of Botany**, v. 45, Board of Pakistan Botanical Society, p. 461-465, 2013.
- BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, Centro Científico Conhecer – Goiânia, p. 2165-2179, 2013.
- CONCAS, A.; PISU, M.; CAO, G. Novel simulation model of the solar collector of BIOCOIL photobioreactors for CO<sub>2</sub> sequestration with microalgae. **Chemical Engineering Journal**, v. 157, ELSEVIER, p. 297-303, 2010.
- GUIMARÃES, L. P. C. **Projeto e construção de um fotobiorreator para crescimento acelerado de microalgas**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Mecânica), Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga – Portugal, 2012.
- JARENKOW, A. **Influência da vazão de entrada de ar no crescimento de microalgas em reator do tipo air-lift**. 2011. 25 f. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2011.
- LIU, Z. Y.; WANG, G. C.; ZHOU, B. C. Effect of iron on growth and lipid accumulation in *Chlorella vulgaris*. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4717-4722, 2008.
- LOPES, D. C.; MORAES, I.; SILVA, L. P.; CARVALHO, L. P.; PACIELLO, M. O. Cultivo de microalgas para a produção de biodiesel: potencial a ser explorado. **Revista eletrônica de energia**, v. 4, UNIFACS – Bahia, p. 65-74, 2014.
- LÚCIO, M. J. **Cultivo de microalgas *Chlorella vulgaris* com efluente doméstico como meio de cultura alternativo**. 2014. 71 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso II em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2014.
- REIS, C. E. R. **Construção de um biorreator tubular para crescimento da microalga *Chlorella sp.* Em meio de lixiviado**. 2014. 59 f. Monografia (Trabalho de

Conclusão de Curso II em Engenharia Industrial Química), Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

RUSSO, D. A. M. T. **Estudo do crescimento da microalga *Chlorella vulgaris* numa água residual tratada, sob diferentes condições de fotoperíodo e temperatura.** 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia), Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Monte da Caparica – Lisboa, 2011.

SANTOS, R. R. **Estudo de diferentes condições de cultivo de *Chlorella vulgaris* visando o aumento da produtividade em biomassa e lipídios.** 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2013.

VIEIRA, J. G.; LOPES, E. J.; MANETTI, A. G. S.; QUEIROZ, M. I. Influência da temperatura na remoção de fosfato por microalgas em biorreatores heterotróficos. **Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, Universidade de Taubaté, p. 101-109, 2012.

ZARDO, I. **Análise de viabilidade econômica da produção de biodiesel a partir de microalgas.** 2011. 34 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química), Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.